



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 43 12 565 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**B 21 D 5/01**  
G 01 B 11/26

②1 Aktenzeichen: P 43 12 565.4  
②2 Anmeldetag: 17. 4. 93  
④3 Offenlegungstag: 20. 10. 94

DE 43 12 565 A 1

⑦1 Anmelder:

Geiger, Manfred, Prof. Dr.-Ing., 91341 Röttenbach,  
DE

⑦4 Vertreter:

Rau, M., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat.; Schneck, H.,  
Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Hübner, G., Dipl.-Phys.Univ.,  
Pat.-Anwälte, 90402 Nürnberg

⑦2 Erfinder:

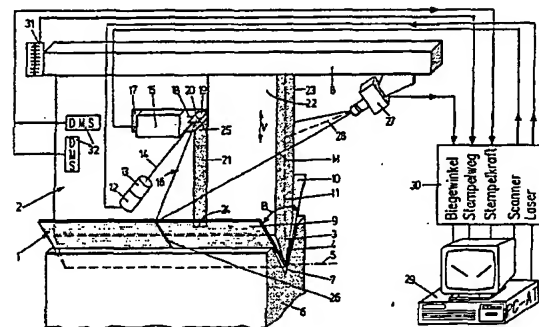
Geiger, Manfred, Prof. Dr.-Ing., 8551 Röttenbach,  
DE; Heckel, Werner, Dipl.-Phys., 8505 Röttenbach,  
DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 32 16 053  
GEIGER, Manfred;  
HECKEL, Werner: 3D-Lichtschnitt- sensor zur  
Biegewinkelerfassung. In: Blech Rohre Profile 40,  
1993, 3, S.235-240;  
JP Patents Abstracts of Japan: 59-160707 A., P-328,  
Jan. 19, 1985, Vol. 9, No. 13;  
59-160708 A., P-328, Jan. 19, 1985, Vol. 9, No. 13;  
1-199104 A., P-956, Nov. 9, 1989, Vol. 13, No. 495;

⑤4 Biegemaschine zum Biegen flächiger Werkstücke

⑤7 Ein Biegewerkzeug zum Biegen flächiger Werkstücke, insbesondere zum freien Biegen von Blechen (1) ist mit einem das Werkstück (Blech 1) beaufschlagten Biegestempel, einem Gegenwerkzeug in Form eines Gesenks (6) und einer Vorrichtung zur on-line-Erfassung des Biegewinkels (B) während des Biegeprozesses versehen. Diese Vorrichtung arbeitet nach dem bekannten Lichtschnittverfahren, wobei eine Strahlführungseinheit in Form eines Galvanometer-Scanners (15) derart in den Biegestempel (2) oder das Gegenwerkzeug (Gesenk 6) integriert ist, daß der zentrale Ausgangspunkt (20) eines Lichtfächers (16) zur Beleuchtung der Werkstück-Schenkel (9, 10) in der die Biegeachse (5) aufnehmenden Mittellängsebene (M) des Biegewerkzeuges liegt.



DE 43 12 565 A 1

Die Erfindung betrifft eine Biegemaschine zum Biegen flächiger Werkstücke, insbesondere zum freien Biegen von Blechen nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Die heute in zunehmendem Maße geforderte "Just-in-time-Fertigung" erfordert flexible Blechumformverfahren, wie z. B. das freie Biegen, mit dem in einem einzigen Werkzeug beliebige Biegewinkel innerhalb einer großen Variationsbreite erzeugt werden können.

Ein Problem beim freien Biegen liegt darin, daß ein Blech um seine jeweilige Rückfederrate überbogen werden muß, die von verschiedenen Einflußfaktoren, wie Sollwinkel, Blechdicke, Fließspannung, Anisotropie, usw. abhängt. Diese Einflußfaktoren können innerhalb einer Blech-Charge so stark voneinander abweichen, daß die erforderliche Fertigungsgenauigkeit nicht gewährleistet werden kann.

Ein exaktes Einhalten des Biegewinkels beim freien Biegen kann durch verschiedene Vorgehensweisen sichergestellt werden. Zum einen können für jedes Werkstück vor dem Biegeprozeß die relevanten Werkstoff-Kenndaten, wie Blechdicke, Fließspannung usw. ermittelt und über eine rechnergestützte Simulation des Biegevorgangs die erforderlichen Parameter für das Biegewerkzeug festgelegt werden. Bisher sind jedoch keine Verfahren bekannt, die eine zerstörungsfreie Bestimmung der Werkstoffkenndaten für jedes Werkstück in ausreichender Genauigkeit ermöglichen.

Eine andere Vorgehensweise besteht in der on-line-Erfassung des Biegewinkels in der Biegemaschine. Durch die Kenntnis des Biegewinkels kann ein gesteuertes Überbiegen zum Erreichen eines gewünschten Biegewinkels vorgenommen werden.

Zur on-line-Erfassung des Biegewinkels wurden bereits verschiedene Lösungsansätze vorgeschlagen. So ist es bekannt, den Biegewinkel über den Differenzwinkel zwischen einer Biegewange und einem abgebogenen Blechschenkel mittels mechanischer Taster zu erfassen. Weiterhin wurde bereits eine Biegewinkelerfassung durch inkrementale Drehgeber an drehbaren Gesenkelementen vorgeschlagen, die mit einem Biegestempel mit einer im wesentlichen keilförmigen Biegekante zusammenarbeiten. Diese mechanischen Biegewinkel-Erfassungsmethoden sind relativ ungenau und daher für den Praxiseinsatz wenig geeignet.

Der nächstkommende Stand der Technik ist in der Fachveröffentlichung "3D-Lichtschnittsensor zur Biegewinkelerfassung" von Prof. M. Geiger, W. Heckel in der Zeitschrift "BLECH-ROHRE-PROFILE", Jg. 40, 1993, Heft 3, S. 235—240 offenbart. Daraus ist eine Biegemaschine der gattungsgemäßen Art mit einer Vorrichtung zur on-line-Erfassung des Biegewinkels während des Biegeprozesses bekannt. Diese auf optischem Wege arbeitende Erfassungsvorrichtung für den Biegewinkel arbeitet mit einem Beleuchtungs-System, das eine Laserstrahlquelle, eine Strahlformungseinheit zur Kollimation und Fokussierung des von der Laserstrahlquelle erzeugten Laserstrahles und eine Strahlführungseinheit aufweist. Letztere erzeugt einen sektorförmigen, rechtwinklig zur Biegeachse gerichteten Lichtfächer aus dem Laserstrahl, mittels dem die beiden Schenkel des Werkstückes unter Abzeichnung linearer Lichtspuren darauf beleuchtet werden. Diese Vorgehensweise ist als sogenanntes "Lichtschnittverfahren" bekannt, das die Ermittlung der dreidimensionalen Koordinaten der Werkstückoberfläche entlang der Schnittlinie mit der Be-

leuchtungsebene — also dem Lichtfächer — erlaubt. Aus den dreidimensionalen Koordinaten der beiden Werkstückschenkel läßt sich der Biegewinkel direkt berechnen, wobei eventuell auftretende Werkstückkrümmungen erfaßt und bei der Auswertung berücksichtigt werden können.

Das erwähnte "Lichtschnitt-Verfahren" ist in der vorgenannten Fachveröffentlichung von W. Heckel anhand der gattungsgemäßen Biegemaschine eingehend beschrieben. Kurz umrissen werden die durch diffuse Reflexion der Schnittlinie des Lichtfächers mit der Werkstückoberfläche erzeugten Lichtspuren — das sogenannte "Profil" — mittels eines lichtempfindlichen Detektors — vorteilhaft einer CCD-Video-Kamera — unter dem sogenannten Triangulationswinkel detektiert. Die davon gelieferten Meßsignale werden als Detektorbild in einem digitalen Bildspeicher erfaßt und einer rechnergestützten Auswertung zur Ermittlung der dreidimensionalen Koordinaten der Werkstückoberfläche zugänglich gemacht.

Nachteilig bei der vorbekannten Vorrichtung zur on-line-Erfassung des Biegewinkels ist die Tatsache, daß die Strahlführungseinheit zur Erzeugung des Lichtfächers außerhalb des eigentlichen Biegewerkzeuges, also seitlich neben dem Biegestempel bzw. dem Gegenwerkzeug angeordnet ist. Insofern liegt der zentrale Ausgangspunkt des Lichtfächers außerhalb der die Biegeachse aufnehmenden Mittellängsebene des Biegewerkzeuges, womit die beiden Werkstückschenkel asymmetrisch beleuchtet werden. Dies führt zu einer ungleichmäßigen Abzeichnung des "Profils" auf den Werkstückschenkeln mit sich ändernder Helligkeit. Dies führt zu Problemen bei der Erfassung des Profils mit Hilfe des Detektors, da dessen Dynamik für die Helligkeitsunterschiede gegebenenfalls nicht ausreicht.

Ausgehend von den geschilderten Problemen beim Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Biegemaschine der gattungsgemäßen Art so zu verbessern, daß die on-line-Erfassung des Biegewinkels während des Biegeprozesses mit verbesserter Genauigkeit unter besser beherrschbaren beleuchtungstechnischen Verhältnissen durchgeführt werden kann.

Diese Aufgabe wird durch die im Kennzeichnungsteil des Anspruches 1 angegebenen Merkmale gelöst. Durch die Integration der Strahlführungseinheit in den Biegestempel oder das Gegenwerkzeug, so daß der zentrale Ausgangspunkt des Lichtfächers in der die Biegeachse aufnehmenden Mittellängsachse des Biegewerkzeuges liegt, ist gewährleistet, daß die Werkstückschenkel symmetrisch vom Lichtfächer beleuchtet werden. Insofern sind asymmetriebedingte Abweichungen im "Profil" von vornherein ausgeschlossen. Darüber hinaus kann die Strahlführungseinheit in einfacher Weise, nämlich symmetrisch, angesteuert werden.

Die im Anspruch 2 angegebene Maßnahme dient gleichermaßen der Vermeidung asymmetriebedingter Abweichungen in der Biegewinkel-Erfassungsvorrichtung, wodurch der Rechenaufwand für die Meßsignal-Auswertung vermindert und die Meßgenauigkeit erhöht werden.

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung des Erfindungsgegenstandes nach Anspruch 3 sind in jedem Zustand des Biegewerkzeuges die Detektions- und Strahlführungseinheit in einer festen Relativposition zueinander angeordnet, die praktisch nur einmal bei der Inbetriebnahme des Biegewerkzeuges einjustiert werden muß. Beim Biegeprozeß verändern sich die Lagen von Detek-

tions- und Strahlführungseinheit zueinander nicht, so daß entsprechende Kompensationsberechnungen ebenfalls entfallen können.

Durch die im Anspruch 4 angegebene Anordnung und Ausgestaltung des Schlitzes im Biegestempel wird einerseits ein möglichst weit "ausladendes" Profil auf den Werkstückschenkel erzeugt. Andererseits bleibt durch die Ausbildung des Schlitzes die eigentliche Biegekante des Biegestempels unversehrt, so daß eine qualitativ hochwertige, gleichmäßig durchgehende Biegung am Werkstück erzeugt wird. Die Abschattung des Lichtfächers durch den zur Biegekante hin geschlossenen Schlitz kann dabei in Kauf genommen werden, da der Erfassungssektor der Detektionseinheit ohnehin durch den Biegestempel abgeschattet ist und nur die seitlich außerhalb des Biegestempels verlaufenden Abschnitte der Werkstückschenkel erfassen kann.

Anspruch 5 kennzeichnet eine vorteilhafte Möglichkeit für die Integration der Strahlführungseinheit in den Biegestempel.

Die Ansprüche 6 und 7 geben vorteilhafte Alternativen für die gegenseitige Zuordnung von Lichtquelle einerseits und Strahlformungseinheit und Strahlführungseinheit andererseits an. So wird bei einer direkten Anbringung der Lichtquelle und Strahlformungseinheit am Biegestempel nur eine einmalige Justierung der gesamten Optik notwendig, da während des Betriebs des Biegewerkzeuges alle optischen Komponenten relativ zueinander ortsfest angeordnet sind.

Bei Verwendung einer Lichtleit-Faseroptik zur Heranführung des Lichtstrahls von der Laserstrahlquelle zur Strahlformungseinheit bzw. Strahlführungseinheit kann erstere an einer gut zugänglichen Stelle des Biegewerkzeuges oder sogar außerhalb des Arbeitsraumes der Biegemaschine in einer Entfernung bis zu einigen Metern angeordnet sein, so daß z. B. bei einem Defekt einer Laserdiode als Lichtquelle diese einfach ausgetauscht werden kann. Darüber hinaus ist für diesen Fall auch keine Neujustage notwendig, da die Lichtleit-Faseroptik beim Austausch der Laserdiode keinen Manipulationen unterworfen und beim Austausch von einfachen, genormten Steckverbindungen an der Schnittstelle zwischen der Laserstrahlquelle und Lichtleit-Faseroptik Gebrauch gemacht wird.

Die Ansprüche 8 und 9 kennzeichnen verschiedene Ausführungsformen für die Strahlführungseinheit, wobei der im Anspruch 8 angegebene Galvanometer-Scanner als für den Praxiseinsatz beste Lösung gelten kann. So kann der Galvanometer-Scanner einen stufenlos einstellbaren Ablenkwinkel bis maximal 90° (optisch) erreichen und direkt mittels 220 V-Netzspannung betrieben werden. Darüber hinaus ist er kompakt und gekapselt, so daß er für den integrierten Einsatz im Biegestempel der Biegemaschine unter den gegebenen, rauen Praxisbedingungen bestens geeignet ist. Hierbei ist weiterhin von Vorteil, daß die optischen Komponenten oberhalb des Werkstücks angeordnet und damit vor Verschmutzung geschützt sind.

Statt eines Galvanometer-Scanners kann auch eine Strahlführungseinheit mit einem Drehspiegel oder drehbaren Polygonspiegel verwendet werden, wobei deren Spiegel-Drehachse parallel zur Biegeachse verläuft und auf der Mittellängsebene des Biegewerkzeuges liegt (Anspruch 9).

Anspruch 10 kennzeichnet eine Alternative für die Strahlführungseinheit, bei der keine schwenkenden oder drehenden Spiegel zur Erzeugung des Lichtfächers verwendet werden. Vielmehr wird der Laserstrahl durch

eine anamorphotische Optik mit einer Zylinderlinse zu einem zweidimensionalen Lichtfächer aufgeweitet.

Durch die in Anspruch 11 angegebene Maßnahme kann das Umgebungslicht in der Detektionseinheit ausgeblendet werden, so daß die Biegemaschine für den industriellen Einsatz optimiert ist.

Zusammenfassend wird durch die Erfindung eine Biegemaschine mit einer berührungslos messenden optischen Meßvorrichtung zur Erfassung des Biegewinkels beim Biegen flächiger Werkstücke zur Verfügung gestellt, die eine hohe Meßgenauigkeit aufweist und im wesentlichen unabhängig von Reflexionseigenschaften des Werkstückes arbeitet. Die Erfindung erlaubt eine vollständige Erfassung der Werkstückkontur in der Lichtschnitt-Ebene, wobei der Biegewinkel direkt gemessen und eine etwaige Krümmung der Werkstückschenkel bei der Berechnung des Biegewinkels berücksichtigt wird. Die Erfindung ist bei der Regelung des freien Biegens zur Biegewinkelerfassung während der Belastungs- und Entlastungsphase sowie nach der Entlastung des Werkstücks im Gesenk anwendbar. Desweiteren ist damit auch eine Regelung oder Qualitätskontrolle bei anderen Biegeverfahren, z. B. beim Gesenkbiegen mit festen Biegewinkeln, möglich. Als Gegenwerkzeuge können dementsprechend V-, U-Gesenke mit oder ohne Gegenhalter bzw. elastische Matrizen verwendet werden.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung sind der nachfolgenden Beschreibung entnehmbar, in der ein Ausführungsbeispiel des Erfindungsgegenstandes anhand der beiliegenden Zeichnung näher erläutert wird.

Die Zeichnung zeigt eine schematische Perspektivdarstellung eines Biegewerkzeuges gemäß der Erfindung.

Dieses Biegewerkzeug ist zum sogenannten freien Biegen von flächigen Werkstücken, wie beispielsweise eines Bleches 1 geeignet. Dazu weist es einen Biegestempel 2 auf, der mit seiner keilförmigen Biegekante 3 das Blech 1 während des Biegevorgangs beaufschlagt. Der Scheitel 4 der Biegekante 3 definiert die Biegeachse 5 des Bleches 1.

Weiterhin ist ein Gegenwerkzeug in Form eines Gesenks 6 mit einer keilförmigen Ausnehmung 7 vorgesehen, deren Keilwinkel größer als der Keilwinkel der Biegekante 3 ist.

Der Biegestempel 2 ist an einem Werkzeugträger 8 befestigt, der durch einen nicht dargestellten Antrieb in Verschieberichtung V bewegbar ist.

Beim Beaufschlagen des Bleches 1 durch den Biegestempel 2 gegen das Gesenk 6 wird das Blech um die Biegeachse 5 gebogen, wobei sich die beiden Schenkel 9, 10 des Bleches 1 im wesentlichen symmetrisch zu der Mittellängsebene M des Biegewerkzeuges verformen. Die Mittellängsebene M ist in der Zeichnung durch ihre Schnittlinie mit der rechtwinklig zur Biegeachse 5 verlaufenden Schmalseite 11 des Biegestempels 2 angedeutet.

Das Biegewerkzeug weist darüber hinaus eine Vorrichtung zur on-line-Erfassung des Biegewinkels B während des Biegeprozesses auf. Diese Vorrichtung umfaßt als Hauptkomponenten eine Laserstrahlquelle 12 in Form einer Laserdiode, die mit einer Strahlformungseinheit 13 zur Kollimation und Fokussierung des von der Laserstrahlquelle 12 erzeugten Laserstrahles 14 kombiniert ist. Bei der Laserstrahlquelle 12 und der Strahlformungseinheit 13 handelt es sich um handelsübliche Komponenten, wie sie z. B. für Markierungslaser

für die Stahlindustrie eingesetzt werden.

Weiterhin ist eine Strahlführungseinheit in Form eines Galvanometer-Scanners 15 vorgesehen, der zur Erzeugung eines sektorförmigen, rechtwinklig zur Biegeachse 5 gerichteten Lichtfächers 16 aus dem Laserstrahl 14 dient. Der Galvanometer-Scanner 15 ist in einer Ausnehmung 17 des Biegestempels 2 so angeordnet, daß die Schwenkachse 18 seines Schwenkspiegels 19 parallel zur Biegeachse 5 verläuft und in der Mittellängsebene M des Biegewerkzeuges liegt. Die Strahlführungseinheit in Form des Galvanometer-Scanners 15 ist also derart im Biegestempel 2 integriert, daß der zentrale Ausgangspunkt 20 des Lichtfächers 16 in der die Biegeachse 5 aufnehmenden Mittellängsebene M des Biegewerkzeuges liegt. Der Lichtfächer 16 selbst wird aus dem Laserstrahl 14 durch eine gesteuerte, symmetrische Verschwenkung des Schwenkspiegels 19 erzeugt, indem der vom Schwenkspiegel 19 abgelenkte Laserstrahl 14 netzsynchron mit einer Frequenz von 50 Hz den Lichtfächer-Sektor überstreicht. Der Galvanometer-Scanner ist eine handelsübliche Komponente und wird beispielsweise von der Firma Laserscanning Keiser AG, CH-8143 Stallikon, unter der Bezeichnung "090 E Laser Line Scanner" vertrieben.

Laserstrahlquelle 12 und Strahlformungseinheit 13 sind als Ganzes an den Biegestempel 2 angeflanscht, so daß eine einmalige Justierung der gesamten Laserstrahl-optik bei Inbetriebnahme des Werkzeuges in der Regel genügt.

Damit der Lichtfächer 16 die beiden Schenkel 9, 10 des Bleches 1 in einem möglichst großen Bereich beleuchten kann, ist im Biegestempel 2 ein Schlitz 21 vorgesehen, der koplanar mit der Ebene des Lichtfächers 16 verläuft und zu den parallel zur Mittellängsebene M des Biegewerkzeuges verlaufenden Seitenflächen 22, 23 des Biegestempels 2 hin offen ist. Der Schlitz 21 endet dabei an seinem unteren Ende 24 vor der Biegekante 3 des Biegestempels 2. An seinem oberen Ende 25 geht der Schlitz 21 in die Ausnehmung 17 über. Die Schlitzbreite beträgt etwa 10 bis 12 mm, so daß der Biegestempel strukturell praktisch nicht geschwächt wird.

Der Lichtfächer 16 zeichnet sich auf den beiden Schenkeln 9, 10 des Bleches 1 als lineare Lichtspuren 26 — das sogenannte "Profil" — ab. Diese Lichtspuren 26 werden durch eine lichtempfindliche Detektionseinheit in Form einer CCD-Videokamera 27 erfaßt, die eine vorteilhafte Ausführungsform eines zweidimensionalen lichtempfindlichen Detektors darstellt. Die CCD-Videokamera 27 ist parallel zur Biegeachse 5 fluchtend mit dem Biegestempel 2 am Werkzeugträger 8 derart fest montiert, daß ihre zentrale optische Achse 28 in der Mittellängsebene M des Biegewerkzeuges liegt und mit der Ebene des Lichtfächers 16 den sogenannten Triangulationswinkel einschließt. Die Meßsignale der CCD-Videokamera 27 werden von einer Auswerteeinheit in Form eines Personalcomputers 29 ausgewertet, wodurch der Biegewinkel B on-line während des Biegeprozesses ermittelt werden kann. Die Art der Berechnung nach dem sogenannten Lichtschnittverfahren ist in der Fachveröffentlichung "In-process Measurement of Bending Angles Based on the Principle of Light Sectioning" von W. Heckel in "International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing", Vol. 29 (1992), Part B5, S. 409 — 16 ausführlich dargestellt und bedarf daher keiner näheren Erörterung.

Die CCD-Videokamera 27 ist ebenfalls handelsüblich. Beispielsweise kann eine entsprechende Kamera mit der Typenbezeichnung "XC 77 CE" der Firma Sony

verwendet werden.

Als Alternativen zu einer CCD-Videokamera können auch andere Fotodetektoren, wie z. B. Meßkameras, Fotodioden-Arrays oder dergleichen verwendet werden.

Zum optischen System ist anzumerken, daß die monochromatische Beleuchtung des Werkstückes mit Hilfe der Laserstrahlquelle 12 eine Ausblendung des Umgebungslichtes erlaubt, was sich insbesondere bei einem Einsatz des erfindungsgemäßen Biegewerkzeuges im industriellen Umfeld als vorteilhaft erweist. Diese Ausblendung kann beispielsweise durch einen Bandpass-Interferenzfilter für die Laserwellenlänge erfolgen, der im Detektionsstrahlengang, also insbesondere in die Optik der CCD-Videokamera 27 zwischen Objektiv und CCD-Sensor eingebaut ist.

Mit der erörterten Vorrichtung zur on-line-Erfassung des Biegewinkels B ist letzterer mit einer Genauigkeit in der Größenordnung von 0,05° bis 0,01° zu erfassen, was insbesondere von der digitalen Bildverarbeitung im Personalcomputer 29 abhängt. Von Vorteil dabei ist, daß der Biegewinkel B im wesentlichen unabhängig von den Reflexionseigenschaften des Werkstückes erfaßt werden kann.

Im übrigen dient der Personalcomputer 29 zur gesamten Steuerung des Biegewerkzeuges und der Vorrichtung zur on-line-Erfassung des Biegewinkels, wozu der Personalcomputer 29 über entsprechende Schnittstellen mit den zugehörigen Komponenten des Biegewerkzeuges verbunden ist. Diese Schnittstellen sind in der Zeichnung als Block 30 schematisch dargestellt. Konkret wird z. B. der zurückgelegte Weg des Biegestempels 2 während des Biegeprozesses vom Personalcomputer 29 über ein inkrementales Wegmeßsystem 31 mit einem Glasmaßstab erfaßt. Die Stempelkraft wird durch Dehnungsmeßstreifen 32 ermittelt. Weiterhin steuert der Personalcomputer die Laserstrahlquelle 12 und den Galvanometer-Scanner 15. Dabei kann einerseits die Leistung der Laserstrahlquelle 12 insbesondere durch den Personalcomputer 29 über die Intensität der Lichtspuren 26 auf dem Blech 1 geregelt werden. Die Intensität wird dabei von der CCD-Videokamera 27 erfaßt. Andererseits ist es vorteilhaft, daß bedingt durch die symmetrische Anordnung des Galvanometer-Scanners 15 dessen Spiegelbewegung symmetrisch vom Personalcomputer 29 gesteuert werden kann, was wiederum zu einer Vereinfachung des Steuerprogrammes führt.

#### Patentansprüche

1. Biegemaschine zum Biegen flächiger Werkstücke, insbesondere zum freien Biegen von Blechen (1), mit

- einem das Werkstück (Blech 1) beaufschlagenden Biegestempel (2) mit einer im wesentlichen keilförmigen Biegekante (3), deren Scheitel (4) die Biegeachse (5) des Werkstücks (Blech 1) definiert,
- einem Gegenwerkzeug vorzugsweise in Form eines Gesenks (6) und
- einer Vorrichtung zur on-line-Erfassung des Biegewinkels (B) während des Biegeprozesses, die
  - eine Lichtquelle, vorzugsweise Laserstrahlquelle (12),
  - eine Strahlformungseinheit (13) zur Kollimation und Fokussierung des von der Licht-

quelle (Laserstrahlquelle 12) erzeugten Laserstrahles (Lichtstrahl 14),

— eine Strahlführungseinheit (Galvanometer-Scanner 15) zur Erzeugung eines sektorförmigen, rechtwinklig zur Biegeachse (5) gerichteten Lichtfächers (16) aus dem Lichtstrahl (Laserstrahl 14), mittels dem die beiden Schenkel (9, 10) des Werkstückes (Blech 1) unter Abzeichnung linearer Lichtspuren (26) darauf beleuchtet sind,

— eine zweidimensionale lichtempfindliche optische Detektionseinheit, insbesondere eine CCD-Videokamera (27) zur on-line-Erfassung der auf dem Werkstück (Blech 1) sich abzeichnenden Lichtspuren (26) und

— eine Auswerteeinheit (Personalcomputer 29) zur on-line-Berechnung des Biegewinkels (B) aus den von der Detektionseinheit (CCD-Videokamera 27) gelieferten Meßsignalen umfaßt,

dadurch gekennzeichnet, daß

die Strahlführungseinheit (Galvanometer-Scanner 15) derart in den Biegestempel (2) oder das Gegenwerkzeug (Gesenk 6) integriert ist, daß der zentrale Ausgangspunkt (20) des Lichtfächers (16) in der die Biegeachse (5) aufnehmenden Mittellängsachse (M) des Biegewerkzeuges liegt.

2. Biegemaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektionseinheit (CCD-Videokamera 27) mit ihrer zentralen optischen Achse (28) in der die Biegeachse (5) aufnehmenden Mittellängsebene (M) des Biegewerkzeuges angeordnet ist.

3. Biegemaschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektionseinheit (CCD-Videokamera 27) an einem dem Biegestempel (2) tragenden Werkzeugträger (8) ortsfest relativ zum Biegestempel (2) befestigt und die Strahlführungseinheit (Galvanometer-Scanner 15) in den Biegestempel (2) integriert ist.

4. Biegemaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß im Biegestempel (2) ein Schlitz (21) vorgesehen ist, der zur Aufnahme des Lichtfächers (16) koplanar mit dessen Lichtebe- ne angeordnet ist, der zu den parallel zur Mittellängsebene (M) des Biegewerkzeuges verlaufenden Seitenflächen (22, 23) des Biegestempels (2) hin offen ist und der vor der Biegekante (3) endet.

5. Biegemaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlführungseinheit (Galvanometer-Scanner 15) in einer Ausnehmung (17) im Biegestempel (2) angeordnet ist.

6. Biegemaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (Laserstrahlquelle 12) und Strahlformungseinheit (13) direkt am Biegestempel (2) angebracht sind.

7. Biegemaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch eine Lichtleit-Faseroptik zur Heranführung des Lichtstrahls (Laserstrahl 14) von der Lichtquelle (Laserstrahlquelle 12) zur Strahlformungseinheit (13) bzw. Strahlführungseinheit (Galvanometer-Scanner 15).

8. Biegemaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlführungseinheit einen Galvanometer-Scanner (15) zur Erzeugung des Lichtfächers (16) aufweist, wobei die Schwenkachse (18) des Schwenkspiegels (19) des Galvanometer-Scanners (15) parallel zur Biegeach-

se (5) verläuft und auf der Mittellängsebene (M) des Biegewerkzeuges liegt.

9. Biegemaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlführungseinheit einen Drehspiegel oder drehbaren Polygonspiegel aufweist, deren Drehachse parallel zur Biegeachse (5) verläuft und auf der Mittellängsebene (M) des Biegewerkzeuges liegt.

10. Biegemaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlführungseinheit eine anamorphotische Optik mit einer Zylinderlinse aufweist.

11. Biegemaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß als Lichtquelle eine monochromatische Lichtquelle, insbesondere Laserstrahlquelle (12) verwendet ist und daß in die Optik der Detektionseinheit (CCD-Videokamera 27) ein auf die Licht-Wellenlänge abgestimmter Bandpaßfilter integriert ist.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

